



Олег Викторович Мосин

Российский исследователь воды, биохимик, канд. хим. наук, доц., член Японского Общества биохимии, биотехнологии и бионауки и других международных академий. Научные интересы - изучение структуры воды, воздействия на воду, изотопные эффекты дейтерия, клеточная адаптация к тяжелой воде, молекулярная эволюция, биотехнология изотопно-меченых природных соединений. Автор 250 научных работ по воде и водоочистке.



Д. н., проф. Игнат Игнатов

Игнат Игнатов, доктор Европейской академии естественных наук (Германия), профессор, болгарский биофизик и исследователь воды, директор Научно-исследовательского центра медицинской биофизики (НИЦМБ). Главное научное направление проф. И. Игнатова связано с исследованиями структуры воды, информационных свойств воды и происхождением живой материи. Автор 300 научных работ и нескольких книг. Награждён международной премией им Вернадского по альтернативной медицине и биофизике (2003 г.), Швейцарской премией по альтернативной медицине и биофизике – Швейцарская премия (2003 г.) и Премией им. Чижевского (2005 г.).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

© Мосин О.В., Игнатов И.

к.х.н. О.В. Мосин (Россия)

Доктор наук, проф. И. Игнатов (Болгария)

Контакт с автором: mosin-oleg@yandex.ru

Аннотация. В статье приводится обзор перспективных современных направлений и подходов в практической реализации противонакипной магнитной обработки воды в теплоэнергетике и смежных отраслях промышленности, в т.ч. в водоподготовке, для устранения накипеобразования (карбонатные, хлоридные и сульфатные соли Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} и Fe^{3+}) в теплообменной аппаратуре, трубопроводах и сантехнических системах. Рассмотрены принципы физического воздействия магнитного поля на воду, параметры протекающих в воде физико-химических процессов и поведение растворенных в подвергнутой магнитной обработке воде солей жесткости. Показано, что воздействие магнитного поля на воду носит комплексный многофакторный характер. Приведены конструктивные особенности выпускаемых промышленностью аппаратов магнитной обработки воды на постоянных и электромагнитах – гидромагнитных систем (ГМС), магнитных преобразователей и магнитных активаторов воды. Дана эффективность использования аппаратов магнитной обработки воды в водоподготовке.

Ключевые слова: вода, магнитная обработка, жесткость воды.

Введение

Воздействие магнитного поля на воду носит комплексный многофакторный характер и в конечном результате сказывается на изменениях структуры воды и гидратированных ионов, физико-химических свойствах и поведении растворённых в ней неорганических солей [1]. При воздействии на воду магнитного поля в ней изменяются скорости химических реакций за счет протекания конкурирующих реакций растворения и осаждения растворенных солей, происходит образование и распад коллоидных комплексов, улучшается электрохимическая коагуляция с последующей седиментацией и кристаллизацией солей [2]. Также имеются достоверные данные, указывающие на бактерицидное действие магнитного поля [3], что существенно для использования

магнитной обработки воды в сантехнических системах, где требуется высокий уровень микробной чистоты.

Гипотезы, объясняющих механизм воздействия магнитного поля на воду подразделяются на три основные группы – коллоидные, ионные и водные. Первые предполагают, что под влиянием магнитного поля в обрабатываемой воде происходит спонтанное образование и распад коллоидных комплексов катионов металлов, фрагменты распада которых формируют центры кристаллизации неорганических солей, что ускоряет их последующую седиментацию. Известно, что наличие в воде ионов металлов (особенно железа Fe^{3+}) и микровключений из ферромагнитных частиц железа Fe_2O_3 интенсифицирует образование коллоидных гидрофобных золь катионов Fe^{3+} с анионами хлора Cl^- и молекулами воды H_2O общей формулы $[xFe_2O_3 \cdot yH_2O \cdot zFe^{3+}] \cdot 3zCl^-$ [4], что может привести к формированию центров кристаллизации на поверхности которых адсорбируются катионы кальция Ca^{2+} и магния Mg^{2+} , составляющие основу карбонатной жесткости воды, и образованию мелкодисперстного кристаллического осадка, выпадающего в виде шлама. При этом, чем больше и устойчивее гидратная оболочка ионов, тем труднее им сблизиться или осесть на адсорбирующих комплексах на поверхностях раздела жидкой и твердой фаз.

Гипотезы второй группы объясняют действие магнитного поля поляризацией растворённых в воде ионов и деформацией их гидратных оболочек, сопровождающаяся уменьшением гидратации – важного фактора, обуславливающего растворимость солей в воде, электролитическую диссоциацию, распределение веществ между фазами, кинетику и равновесие химических реакций в водных растворах, в свою очередь повышающей вероятность сблизения гидратов ионов и процессы седиментации и кристаллизации неорганических солей [5]. В научной литературе имеются данные, подтверждающие, что под влиянием магнитного поля происходит временная деформация гидратных оболочек растворенных в воде ионов, а также изменяется их распределение между твердой и жидкой водной фазой [6]. Предполагается, что воздействие магнитного поля на растворенные в воде катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} и Fe^{3+} может быть также связано с генерированием в движущемся потоке воды слабого электрического тока или с пульсацией давления [7].

Гипотезы третьей группы постулируют, что магнитное поле за счет поляризации дипольных молекул воды оказывает воздействие непосредственно на структуру ассоциатов воды, образованных из множества молекул воды, связанных друг с другом посредством низкоэнергетических межмолекулярных ван-дер-ваальсовых, диполь-дипольных и водородных связей, что может привести к деформации водородных связей и

их частичному разрыву, миграции подвижных протонов H^+ в ассоциативных элементах воды и перераспределению молекул воды во временных ассоциативных образованиях молекул воды – кластерах общей формулы $(H_2O)_n$, где n по последним данным может достигать от десятков до нескольких сотен единиц [8]. Эти эффекты в совокупности могут привести к изменению структуры воды, что обуславливает наблюдаемые изменения её плотности, поверхностного натяжения, вязкости, значения рН и физико-химических параметров протекающих в воде процессов, в т. ч. растворения и кристаллизации растворенных в воде неорганических солей [9]. В результате содержащиеся в воде магниевые и кальциевые соли теряют способность формироваться в виде плотного отложения – вместо карбоната кальция образуется более щадящая мелкокристаллическая полиморфная форма $CaCO_3$, по структуре напоминающая арагонит, который или совсем не выделяется из воды, поскольку рост кристаллов останавливается на стадии микрокристаллов, или выделяется в виде тонкодисперсной взвеси, скапливающейся в грязевиках или отстойниках. Также имеются сведения о влиянии магнитной водообработки на уменьшение концентрации в воде кислорода и углекислого газа, что объясняется возникновением метастабильных клатратных структур катионов металлов по типу гексааквакомплекса $[Ca(H_2O)_6]^{2+}$.

Комплексное воздействие магнитного поля на структуру воды и гидратированные катионы солей жесткости открывает широкие перспективы для использования магнитной обработки воды в теплоэнергетике и смежных отраслях промышленности, в т.ч. в водоподготовке. Магнитная обработка воды широко внедряется во многих отраслях промышленности, сельском хозяйстве и медицине. Так, в строительстве обработка цемента магнитной водой в процессе его гидратации сокращает сроки затвердевания клинкерных составляющих цемента с водой, а мелкокристаллическая структура формирующихся твердых гидратов придает изделиям большую прочность и повышает их стойкость к агрессивным воздействиям окружающей среды [10]. В сельском хозяйстве пятичасовое замачивание семян в подвергнутой магнитной обработке воде заметно повышает урожай; полив такой водой стимулирует на 15–20% рост и урожайность сои, подсолнечника, кукурузы, помидоров [11]. В медицине применение намагниченной воды способствует растворению почечных конкрементов, оказывает бактерицидное действие [12]. Предполагается, что биологическая активность омагниченной воды связана с повышением проницаемости биологических мембран тканевых клеток за счёт большей структурированности омагниченной воды, т.к. под воздействием магнитного поля молекулы воды, представляющие собой диполи ориентируются упорядоченно относительно полюсов магнита [13].

Перспективно использование магнитной обработки и в водоподготовке для умягчения воды, поскольку ускорение процесса кристаллизации накипеобразующих солей в воде при магнитной обработке, приводит к значительному уменьшению концентраций растворенных в воде катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} за счет процесса кристаллизации и уменьшения размеров кристаллов, осаждающихся из нагреваемой воды, подвергнутой магнитной обработке. Для удаления из воды трудно осаждаемых тонких взвесей (мути) используется способность омагниченной воды изменять агрегатную устойчивость и ускорять коагуляцию (слипание и осаждение) взвешенных частиц с последующим образованием мелкодисперстного осадка, что способствует извлечению из воды разного рода взвесей. Омагничивание воды может применяться на водопроводных станциях при значительной мутности природных вод; аналогичная магнитная обработка промышленных стоков позволяет достаточно быстро и эффективно осаждать мелкодисперсные загрязнения.

Магнитная обработка воды помогает не только предотвращать выпадение накипеобразующих солей из воды, но и значительно уменьшать отложения органических веществ, например, парафинов. Такая обработка оказывается полезной в нефтедобывающей промышленности при добыче высокопарафиновой нефти, причем эффекты магнитного поля возрастают, если нефть содержит воду.

Наиболее востребованной и эффективной магнитная обработка воды оказалась в теплообменных устройствах и системах, чувствительных к накипи – в виде образующихся на внутренних стенках труб паровых котлов, теплообменников и других теплообменных аппаратов твёрдых отложений гидрокарбонатных (углекислые соли кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ при нагреве воды разлагающиеся на CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ с выделением CO_2), сульфатных (CaSO_4 , MgSO_4), хлоридных (MgSO_4 , MgCl_2) и в меньшей мере силикатных (SiO_3^{2-}) солей кальция, магния и железа [14].

Повышенная жесткость делает воду непригодной для хозяйственно-бытовых нужд, а несвоевременная очистка теплообменников и труб от накипи в виде карбонатных, хлоридных и сульфатных солей Ca^{2+} , Mg^{2+} и Fe^{3+} приводит к уменьшению диаметра трубопровода, что ведёт к повышенному гидравлическому сопротивлению, что в свою очередь негативно сказывается на работе теплообменного оборудования. Поскольку накипь обладает чрезвычайно малым коэффициентом теплопроводности, чем металл, из которого изготовлены нагревательные элементы, на подогрев воды расходуется больше времени. Поэтому с течением времени энергетические потери могут сделать работу теплообменника на такой воде неэффективной или вовсе невозможной. При большой толщине внутреннего слоя накипи происходит нарушение циркуляции воды; в котельных

установках это может привести к перегреву металла, и, в конечном итоге, к его разрушению. Все эти факторы приводят к необходимости проведения ремонтных работ, замены трубопроводов и сантехнического оборудования и требует значительных капитальных вложений и дополнительных денежных расходов с целью очистки теплообменной аппаратуры. В целом, магнитная обработка воды обеспечивает снижение коррозии стальных труб и оборудования на 30-50% (в зависимости от состава воды), что дает возможность увеличить срок эксплуатации теплоэнергетического оборудования, водопроводов и паропроводов и существенно снизить аварийность [15].

Согласно СНиП 11–35–76 “Котельные установки”, магнитную обработку воды для теплооборудования и водогрейных котлов целесообразно проводить, если содержание ионов железа Fe^{2+} и Fe^{3+} в воде не превышает 0,3 мг/л, кислорода – 3 мг/л, постоянная жесткость ($CaSO_4$, $CaCl_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$) – 50 мг/л, карбонатная жесткость ($Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$) не выше 9 мг-экв/л, а температура нагрева воды не должна превышать 95 °С. Для питания паровых котлов – стальных, допускающих внутрикотловую обработку воды, и чугунных секционных – использование магнитной технологии обработки воды возможно, если карбонатная жесткость воды не превышает 10 мг-экв/л, содержание Fe^{2+} и Fe^{3+} в воде – 0,3 мг/л, при поступлении воды из водопровода или поверхностного источника [16]. Ряд производств устанавливает более жесткие регламентации к технологической воде, вплоть до глубокого умягчения (0,035–0,05 мг-экв/л): для водотрубных котлов (15–25 атм.) – 0,15 мг-экв/л; жаротрубных котлов (5–15 атм.) – 0,35 мг-экв/л; котлов высокого давления (50-100 атм.) - 0,035 мг-экв/л.

Магнитная обработка воды по сравнению с традиционными способами умягчения воды ионным обменом и обратным осмосом технологически проста, экономична и экологически безопасна. Обработанная магнитным полем вода не приобретает никаких побочных, вредных для здоровья человека свойств и существенно не меняет солевой состав, сохраняя качества питьевой воды. Использование других методов и технологий может быть связано с увеличением материальных затрат и проблемами утилизации использованных в процессе водоподготовки химических реагентов (чаще всего кислот). При этом часто приходится вкладывать дополнительные материальные затраты, изменять режим работы тепловых аппаратов, применять специальные химические реагенты, изменяющие солевой состав обрабатываемой воды и др. В ионнообменных умягчителях воды используются Na^+ -катиониты, которые после катионирования регенерируются раствором хлористого натрия ($NaCl$) [17]. Это создает проблемы для окружающей среды из-за необходимости утилизации промывных вод с высоким содержанием солей натрия. Воду умягчают также с помощью обратноосмотических мембранных фильтров,

проводящих ее глубокое обессоливание. Однако этот метод менее распространен из-за высокой стоимости обратноосмотических установок и ограниченного ресурса их работы.

Магнитная обработка воды лишена вышеперечисленных недостатков и эффективна при обработке кальциево-карбонатных вод, которые составляют около 80% всех вод России и СНГ. Сферы применения магнитной обработки воды в теплоэнергетике охватывают паровые котлы, теплообменники, бойлеры, компрессорное оборудование, системы охлаждения двигателей и генераторов, генераторы пара, сети снабжения горячей и холодной водой, системы централизованного отопления, трубопроводы и другое теплообменное оборудование.

Учитывая все эти тенденции и перспективы использования магнитной водообработки во многих отраслях промышленности, в настоящее время актуальна и перспективна разработка новых и совершенствование существующих технологий магнитной обработки воды для достижения более высокой эффективности работы и функционирования аппаратов магнитной обработки воды с целью более полного извлечения из воды солей жесткости и повышения ресурсов их работы.

Механизм воздействия магнитного поля на воду и конструкции аппаратов магнитной обработки воды

Принцип действия существующих магнитных аппаратов умягчения воды основан на комплексном многофакторном воздействии магнитного поля, генерируемого постоянными магнитами или электромагнитами на растворённые в воде гидратированные катионы металлов и структуру гидратов и водных ассоциатов, что приводит к изменению скорости электрохимической коагуляции (слипания и укрупнения) дисперсных заряженных частиц в потоке намагниченной жидкости и образованию многочисленных центров кристаллизации, состоящих из кристаллов практически одинакового размера.

В процессе магнитной обработки воды происходят несколько процессов:

–смещение электромагнитным полем равновесия между структурными компонентами воды и гидратированными ионами;

–увеличение центров кристаллизации растворенных в воде солей в заданном объеме воды на микровключениях из дисперстных феррочастиц;

–изменение скорости коагуляции и седиментации дисперсных частиц в обрабатываемом магнитном поле потоке жидкости.

Противонакипный эффект при магнитной обработке воды зависит от состава обрабатываемой воды, напряженности магнитного поля, скорости движения воды,

продолжительности ее пребывания в магнитном поле и других факторов. В целом, противонакипный эффект при магнитной обработке воды усиливается с повышением температуры обрабатываемой воды; при более высоком содержании катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} ; с увеличением значения рН воды; а также при уменьшении общей минерализации воды.

При движении потока молекул воды, представляющих собой элементарный диполь, в магнитном поле перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, вдоль оси Y (см. вектор V) возникает момент сил F1, F2 (сила Лоренса), разворачивающих диполи в горизонтальной плоскости (рис. 1). При движении в горизонтальной плоскости, вдоль оси Z, возникает момент сил в вертикальной плоскости. Полюса магнита препятствуют повороту диполей, поэтому будет происходить торможение движения диполей перпендикулярно линиям магнитного поля. Данный факт приводит к тому, что в диполе, помещённом между двумя полюсами магнита остаётся только одна степень свободы – колебание вдоль оси X – силовых линий приложенного магнитного поля. По остальным координатам движение диполей должно быть ограниченным: диполи становятся "зажатыми" между полюсами магнита, совершая лишь колебательные движения относительно оси X. Определённое положение диполей молекул воды в магнитном поле вдоль силовых линий поля будет сохраняться на расстоянии, тем самым делая расположение диполей воды более упорядоченным. Данные теоретические выкладки применимы и к описанию характера поведения в магнитном поле гидратированных ионов металлов, с разницей, что в магнитном поле происходит поляризация гидратных оболочек.

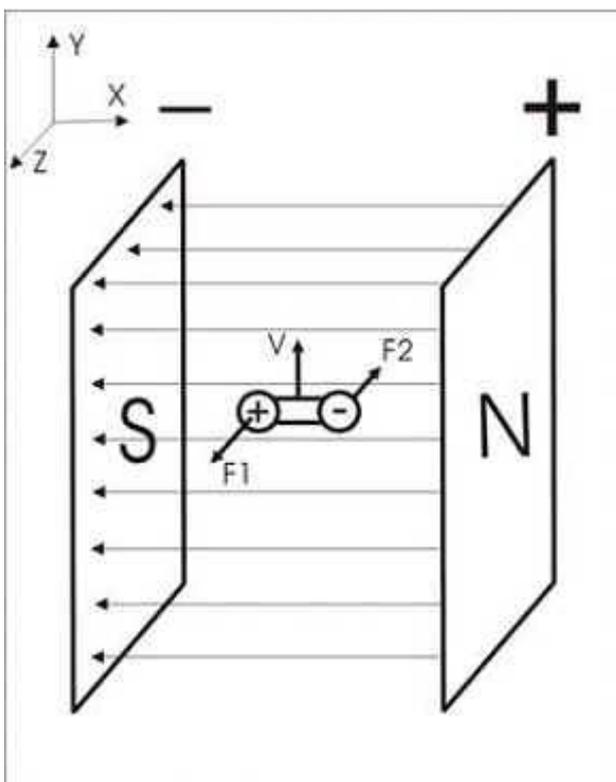


Рис. 1. Поведение диполя воды в магнитном поле.

Экспериментально доказано, что на неподвижную воду магнитные поля действуют гораздо слабее, поскольку обрабатываемая вода обладает некоторой электропроводностью; при ее перемещении в электромагнитных полях генерируется небольшой электрический ток [18]. Поэтому данный способ обработки движущейся в потоке воды часто обозначается магнитогидродинамической обработкой (МГДО). С использованием современных методов МГДО можно добиться таких эффектов в водоподготовке как, увеличение значения рН воды (для уменьшения коррозионной активности потока воды), создание локального увеличения концентрации ионов в локальном объёме воды (для преобразования избыточного содержания ионов солей жёсткости в тонкодисперсную кристаллическую фазу и предотвращения выпадения солей на поверхности трубопроводов и теплообменного оборудования) и др. [19].

Конструктивно большинство аппаратов магнитной обработки воды представляют собой магнитодинамическую ячейку, изготавливаемую в виде полого цилиндрического элемента из ферромагнитного материала, с магнитами внутри, врезающегося в водопроводную трубу с помощью фланцевого или резьбового соединения с кольцевым зазором, площадь поперечного сечения которого не меньше площади проходного сечения подводящего и отводящего трубопроводов, что не приводит к существенному падению давления на выходе аппарата [20]. В результате ламинарного стационарного течения

электропроводящей жидкости, каковой является вода, в магнитодинамической ячейке, находящейся в однородном поперечном магнитном поле с индукцией B_0 (рис. 2), генерируется сила Лоренца [21], величина которой зависит от заряда q частицы, скорости её движения u и индукции магнитного поля B .

$$\vec{F}_\Lambda = q \cdot [\vec{u} \times \vec{B}]$$

Сила Лоренца направлена перпендикулярно скорости движения жидкости и к линиям индукции магнитного поля B , в результате чего заряжённые частицы и ионы в потоке жидкости движутся по окружности, плоскость которой перпендикулярна линиям вектора B [22]. Таким образом, выбирая необходимое расположение вектора магнитной индукции B относительно вектора скорости потока жидкости, можно целенаправленно воздействовать на ионы солей жёсткости Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} и Fe^{3+} , перераспределяя их в заданном объёме водной среды.

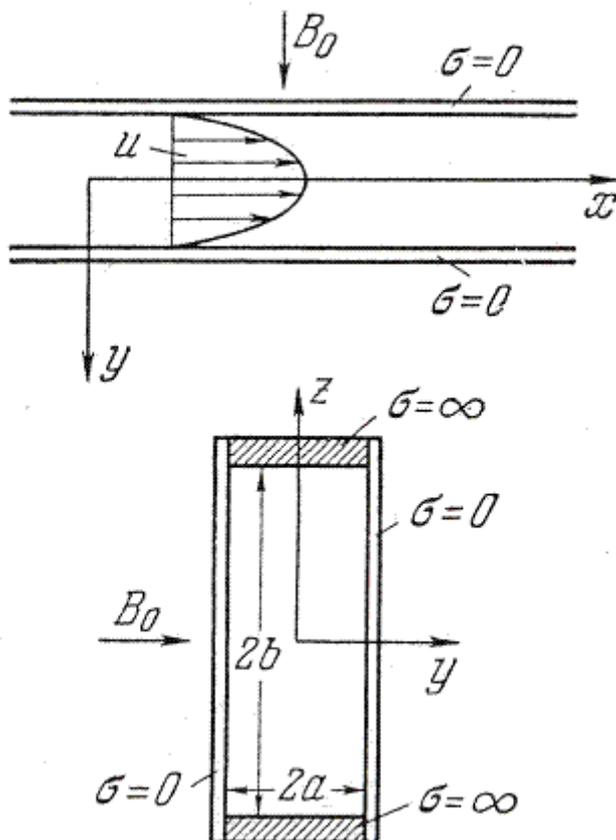


Рис. 2 – Схема течения потока воды в магнитогидродинамической ячейке. σ – электропроводность стенок ячейки; B_0 – амплитудное значение вектора индукции магнитного поля.

Согласно теоретическим расчётам, чтобы инициировать кристаллизацию солей жёсткости внутри объёма движущейся по трубе жидкости от стенок труб в зазорах магнитного устройства, задаётся такое направление индукции магнитного поля B_0 , при котором в середине зазоров образовалась зона с нулевым значением индукции. С этой целью магниты в устройстве располагаются одинаковыми полюсами навстречу друг другу (рис. 3). Под действием силы Лоренца в водной среде возникает противоток анионов и катионов, взаимодействующих в зоне с нулевым значением магнитной индукции, что способствует созданию в этой зоне концентрации взаимодействующих друг с другом ионов, что приводит к их последующему осаждению и созданию центров кристаллизации накипеобразующих солей.

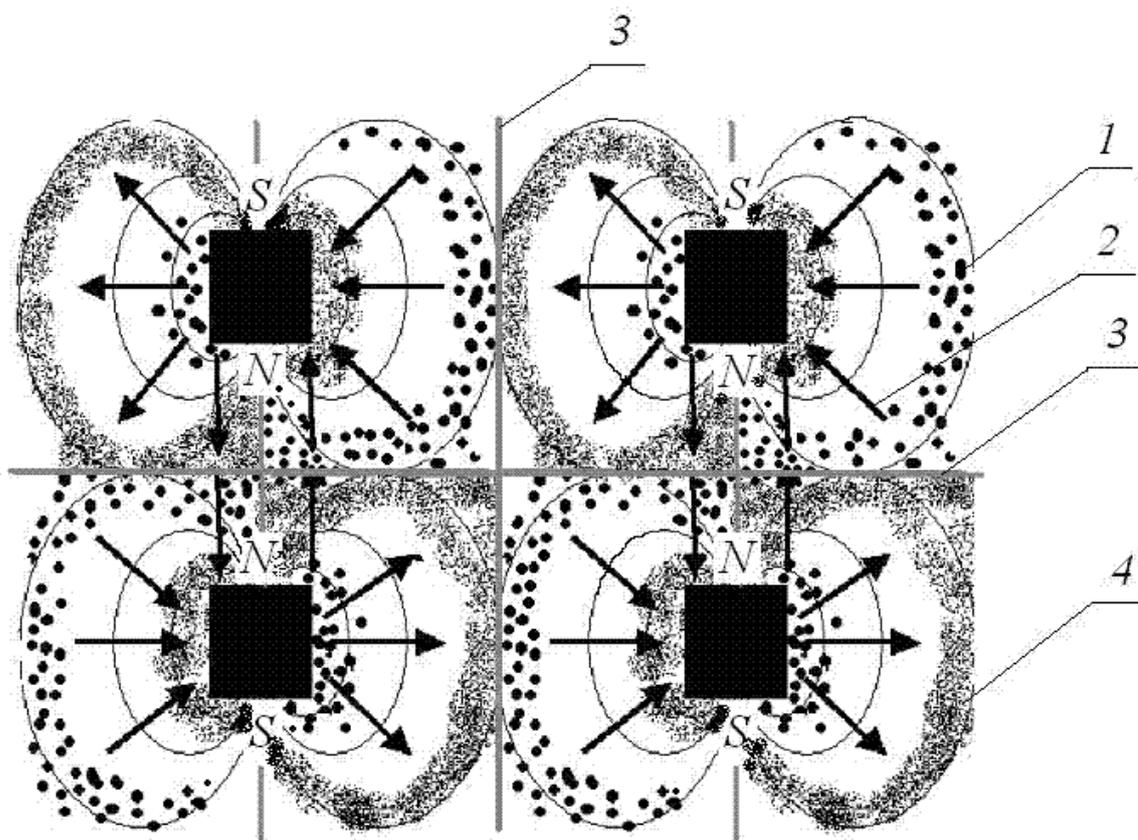


Рис. 3 – Схема расположения магнитов, линий индукции, векторов силы Лоренца и ионов в МГДО. 1 – анионы, 2 – направление индуцированных токов, 3 – зоны с нулевым значением индукции, 4 – катионы.

Промышленностью выпускается два типа аппаратов для магнитной обработки воды (АМО) – на постоянных магнитах и работающих от источников переменного тока электромагнитах (соленоид с ферромагнетиком), генерирующих переменное магнитное

поле. Кроме устройств с электромагнитами в последнее время применяются аппараты импульсного магнитного поля, распространение которого в пространстве характеризуется частотной модуляцией и импульсами с интервалами в микросекунды, способные генерировать сильные с индукцией 5–100 Тл и сверхсильные магнитные поля с индукцией более 100 Тл. Для этого используются главным образом геликоидальные соленоиды, изготовленные из прочных сплавов стали и бронзы. При получении сверхсильных постоянных магнитных полей с большей индукцией используются сверхпроводящие электромагниты

Требования, регламентирующие условия работы всех аппаратов магнитной обработки воды следующие:

- подогрев воды в аппарате должен быть не выше 95 °С;
- содержание ионов железа Fe^{2+} , Fe^{3+} в обрабатываемой воде - не более 0,3 мг/л.
- суммарное содержание хлоридов и сульфатов Ca^{2+} и Mg^{2+} ($CaSO_4$, $CaCl_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$) – не более 50 мг/л;
- карбонатная жесткость ($Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$), – не выше 9 мг-экв/л;
- содержание в воде растворенного кислорода – не более 3 мг/л,
- скорость движения потока воды в аппарате 1–3 м/с.

В магнитных аппаратах, работающих от электромагнитов, вода подвергается непрерывному регулируемому воздействию магнитного поля различной напряженности с чередующимися по направлению векторами магнитной индукции, а электромагниты могут быть расположены как внутри, так и вне аппарата. Электромагнит состоит из трехобмоточной катушки и магнитопровода, образуемого сердечником, кольцами каркаса катушки и кожухом. Между сердечником и катушкой образован кольцевой зазор для прохода обрабатываемой воды. Магнитное поле дважды пересекает поток воды в направлении, перпендикулярном ее движению. Блок управления обеспечивает однополупериодное выпрямление переменного тока в постоянный. Для установки электромагнита в трубопровод предусмотрены переходники. Сам аппарат нужно устанавливать как можно ближе к защищаемому оборудованию. При наличии в системе центробежного насоса аппарат магнитной обработки устанавливается после него.

В конструкциях магнитных аппаратов второго типа применяются постоянные магниты на основе современных порошкообразных носителей - магнитофоров, ферромагнетиков из феррита бария и редкоземельных магнитных материалов из сплавов редкоземельных металлов неодима (Nd), самария (Sm) с цирконием (Zr), железом (Fe), медью (Cu), титаном (Ti), кобальтом (Co) и бором (B). Последние на основе неодима (Nd), железа (Fe), титана (Ti) и бора (B) предпочтительнее, т.к. они обладают большим сроком

эксплуатации, намагниченностью 1500–2400 кА/м, остаточной индукцией 1,2–1,3 Тл, энергией магнитного поля 280–320 кД/м³ (табл. 1) и не теряют своих свойств при нагреве до 150 °С.

Таблица 1. Основные физические параметры редкоземельных постоянных магнитов.

| Состав магнита | Остаточная индукция, Тл | Намагниченность, кА/м | Энергия магнитного поля, кД/м ³ |
|------------------|-------------------------|-----------------------|--|
| Sm–Zr–Fe–Co–Cu | 1,0–1,1 | 1500–2400 | 180–220 |
| Nd–Fe–Co–Ti–Cu–B | 1,2–1,3 | 1500–2400 | 280–320 |

Постоянные магниты, ориентированные определенным образом располагаются соосно внутри цилиндрического корпуса магнитного элемента, изготовленного из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, на концах которого находятся снабженные центрирующими элементами конусные наконечники, соединенные аргоно-дуговой сваркой. Основным элементом магнитного преобразователя (магнитодинамической ячейки) является многополюсный магнит цилиндрической формы, создающий симметричное магнитное поле, аксиальная и радиальная составляющие которого при переходе от полюса к полюсу магнита меняют направление на противоположное. За счет соответствующего расположения магнитов, создающих высокоградиентные поперечные магнитные поля по отношению к водяному потоку, достигается максимальная эффективность воздействия магнитного поля на растворенные в воде ионы накипеобразующих солей. В результате кристаллизация накипеобразующих солей происходит не на стенках теплообменников, а в объеме жидкости в виде мелкодисперсной взвеси, которая удаляется потоком воды при продувке системы в специальные отстойники или грязевики, устанавливаемые в любой системе отопления, горячего водоснабжения, а также в технологических системах различного назначения. Оптимальный интервал скоростей движения потока воды для ГМС составляет 0,5–4,0 м/с, оптимальное давление – 16 атм. Срок эксплуатации составляет, как правило, 10 лет.

В экономическом плане более выгодно использовать аппараты на постоянных магнитах. Основной недостаток этих аппаратов в том, что постоянные магниты на основе феррита бария размагничиваются на 40–50% после 5 лет эксплуатации. При проектировании магнитных аппаратов задается тип аппарата, производительность, индукция магнитного поля в рабочем зазоре или соответствующая ей напряженность магнитного поля, скорость воды в рабочем зазоре, время прохождения водой активной

зоны аппарата, состав ферромагнетика (аппараты с электромагнитами), магнитный сплав и размеры магнита (аппараты с постоянными магнитами).

Выпускаемые промышленностью устройства магнитной обработки воды подразделяются на работающие на электромагнитах аппараты магнитной обработки воды (АМО) и использующие постоянные магниты гидромагнитные системы (ГМС), магнитные преобразователи (гидромультиполи) (МПВ, MWS, ММТ) и активаторы воды серий АМП, МПАВ, МВС, КЕМА бытового и промышленного назначения. Большинство из них схожи по конструкции и принципу действия (рис. 4 и рис. 5). ГМС выгодно отличаются от магнитных устройств на основе электромагнитов и магнитотвердых ферритов, поскольку при их эксплуатации отсутствуют проблемы, связанные с потреблением электроэнергии и с ремонтом при электрическом пробое обмоток электромагнита [23]. Эти аппараты могут быть установлены как в промышленных, так и в бытовых условиях: в магистралях, подающих воду в водопроводные сети, бойлерах, проточных водонагревателях, паровых и водяных котлах, системах водонагрева различного технологического оборудования (компрессорные станции, электрические машины, термическое оборудование и др.). Хотя ГМС рассчитаны на расход воды от 0,08 до 1100 м³/час, соответственно на трубопроводы диаметром 15–325 мм, однако есть опыт создания магнитных аппаратов для ТЭЦ с размерами трубопровода 4000 x 2000 мм.





Рис. 4 Виды аппаратов для магнитной обработки воды (ГМС) на постоянных магнитах с фланцевыми (вверху) и резьбовыми (внизу) соединениями.

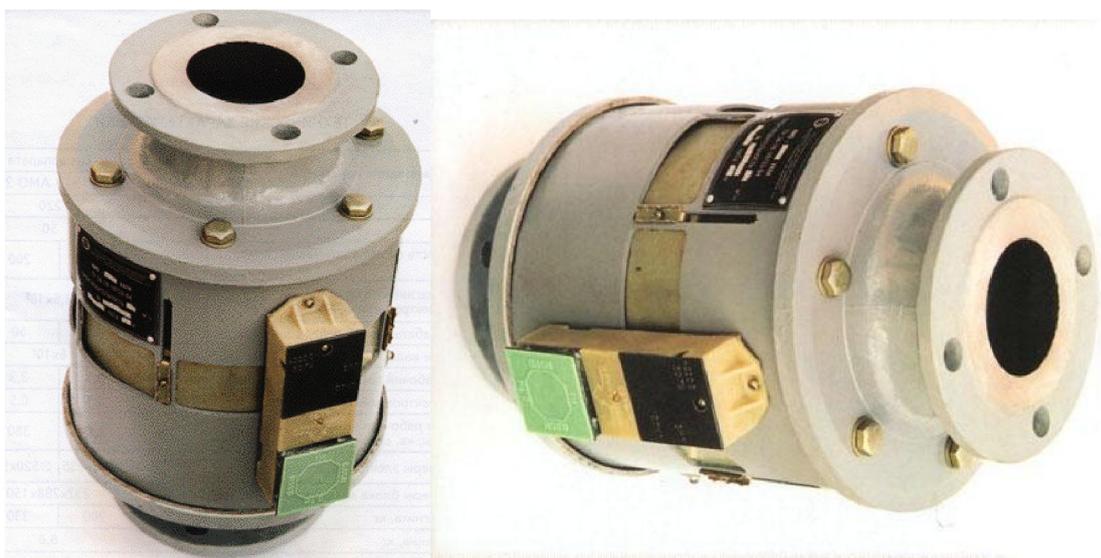
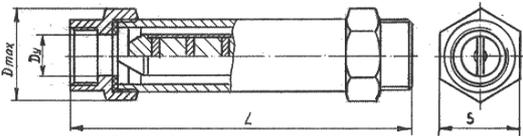


Рис. 5. Аппарат магнитной обработки воды на электромагнитах АМО-25УХЛ.

Современные аппараты для магнитной обработки воды на основе постоянных (табл. 1) и электромагнитов (табл. 2) используются для предотвращения накипи; для снижения эффекта накипеобразования в трубопроводах горячего и холодного водоснабжения общехозяйственного, технического и бытового назначения, нагревательных элементов котельного оборудования, теплообменников, парогенераторов, охлаждающего оборудования и т.п.; для предотвращения очаговой коррозии в трубопроводах горячего и холодного водоснабжения общехозяйственного, технического и бытового назначения; осветления воды (например, после хлорирования); в этом случае скорость осаждения накипеобразующих солей увеличивается в 2–3 раза, что требует отстойники меньшей

емкости; для увеличения фильтроцикла систем химической водоподготовки – фильтроцикл увеличивается в 1,5 раза при уменьшении потребления реагентов, а также для очистки теплообменных агрегатов [24]. При этом аппараты магнитной обработки воды могут использоваться самостоятельно или как составная часть любых установок, подверженных накипеобразованию в процессе эксплуатации – систем подготовки воды в жилых помещениях, коттеджах, детских и лечебно-профилактических учреждениях, для водоподготовки в пищевой промышленности и т.п. Применение этих аппаратов наиболее эффективно для обработки воды с преобладанием карбонатной жесткости до 4 мг-экв/л, и общей жесткости до 6 мг-экв/л при общей минерализации до 500 мг/л.

Табл. 2. Технические характеристики отечественных аппаратов магнитной обработки воды на постоянных магнитах.



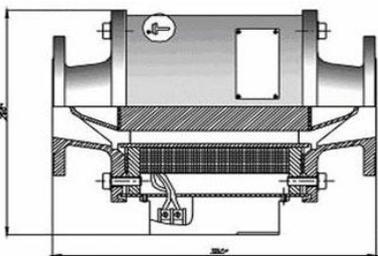
Основные характеристики:

- Условный диаметр (мм.): 10 ; 15; 20; 25; 32
- Номинальное давление (МПа): 1

| Параметр | Модель аппарата | | | | |
|--|-----------------|----------------|--------------|-------------|-------------|
| | АМП 10 РЦ | АМП 15 РЦ | АМП 20РЦ | АМП25РЦ | АМП32РЦ |
| Амплитудное значение магнитной индукции (B_0) на поверхности рабочей зоны, мТл | 180 | | | | |
| Количество рабочих зон | 5 | | | | |
| Номинальный расход воды, миним./норм./макс. м ³ /час | 0,15/0,5/0,71 | 0,35/1,15/1,65 | 0,65/1,9/2,9 | 1,0/3,0/4,5 | 1,6/4,8/7,4 |
| Диаметр условного прохода, мм | 10 | 15 | 20 | 25 | 32 |

| | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|-------------------------------|
| Соединение, дюйм | 1/2 | 1/2 | 3/4 | 1 | 1 ¹ / ₄ |
| Максимальное рабочее давление, МПа) | 1 | | | | |
| Рабочий температурный интервал эксплуатации, °С | 5–120 | | | | |
| Размеры, (LxD), мм | 108x32 | 124x34 | 148x41 | 172x50 | 150x56 |
| Масса, кг | 0,5 | 0,75 | 0,8 | 1,2 | 1,8 |

Табл. 3. Технические характеристики отечественных аппаратов магнитной обработки воды на электромагнитах.



Основные характеристики:

- Условный диаметр (мм.): 80 ; 100; 200; 600
- Номинальное давление (МПа): 1.6

| Параметр | Модель аппарата | | | |
|---|-----------------|------------|------------|------------|
| | АМО-25УХЛ | АМО-100УХЛ | АМО-200УХЛ | АМО-600УХЛ |
| Напряжение, В | 220 | | | |
| Частота сети, Гц | 60 | | | |
| Производительность по обрабатываемой воде м ³ /ч | 25 | 100 | 200 | 600 |
| Напряженность магнитного поля, кА/м | 200 | | | |
| Температура обрабатываемой воды, °С | 60 | 40 | 50 | 70 |
| Рабочее давление воды, МПа | 1,6 | | | |

| | | | | |
|---|-------------|---------|---------|----------|
| Потребляемая электромагнитом мощность, КВт | 0,35 | 0,5 | 0,5 | 1,8 |
| Габаритные размеры электромагнита, мм | 260x410 | 440x835 | 520x950 | 755x1100 |
| Габаритные размеры блока питания, мм | 250x350x250 | | | |
| Масса электромагнита, кг | 40 | 200 | 330 | 1000 |
| Масса блока питания, кг | 8,0 | | | |

Выводы

На основании данной работы можно сделать следующие выводы:

–при магнитной обработке воды происходит воздействие на саму воду, на механические примеси и ионы накипеобразующих солей и на природу протекающих в воде физико-химических процессов растворения и кристаллизации;

–в воде, прошедшей магнитную обработку, возможны изменения гидратации ионов, растворимости солей, значения рН, что выражается в изменении химических реакций и скорости коррозионных процессов.

Таким образом, магнитная обработка воды является перспективным динамично развивающимся современным направлением в водоподготовке для умягчения воды, вызывающее множество сопутствующих физико-химических эффектов, физическую природу и область применения которых еще только начинают изучать. Сейчас промышленностью выпускаются различные аппараты магнитной обработки воды на постоянных и электромагнитах, находящие широкое применение в теплоэнергетике и водообработке. Неоспоримыми достоинствами магнитной обработки в отличие от традиционных схем умягчения воды с помощью ионного обмена и обратного осмоса является простота технологической схемы, экологическая безопасность и экономичность. Кроме этого метод магнитной обработки воды не требует каких-либо химических реактивов и поэтому является экологически чистым.

Несмотря на все достоинства аппаратов магнитной обработки воды, на практике эффект магнитного поля зачастую проявляется только в первый период эксплуатации, затем эффект постепенно снижается. Это явление потери магнитных свойств воды называется релаксацией. Поэтому в тепловых сетях кроме омагничивания подпиточной воды часто необходимо обрабатывать воду, циркулирующую в системе путем создания

так называемого антирелаксационного контура, при помощи которого обрабатывается вся вода, циркулирующая в системе.

Литература

1. Очков В. Ф. Магнитная обработка воды: история и современное состояние // Энергосбережение и водоподготовка, 2006, № 2, с. 23–29.
2. Классен В. И. Омагничивание водных систем, Химия, Москва, 1978, с. 45.
3. Соловьева Г. Р. Перспективы применения магнитной обработки воды в медицине, В сб.: Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем, Москва, 1974, с. 112.
4. Креетов Г. А. Термодинамика ионных процессов в растворах, 2 изд., Ленинград, 1984.
5. Мартынова О. И., Гусев Б.Т., Леонтьев Е.А., К вопросу о механизме влияния магнитного поля на водные растворы солей // Успехи физических наук, 1969, № 98, с. 25–31.
6. Чеснокова Л.Н. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем, Цветметинформация, Москва, 1971, с. 75.
7. Kronenberg K. Experimental evidence for the effects of magnetic fields on moving water // IEEE Transactions on Magnetism (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1985, V. 21, № 5, p. 2059–2061.
8. Мосин О.В., Игнатов И. Структура воды и физическая реальность // Сознание и физическая реальность. 2011, Т. 16, № 9, с. 16–32.
9. Банников В.В. Электромагнитная обработка воды. // Экология производства, 2004, № 4, с. 25–32.
10. Пороцкий Е.М., Петрова В.М. Исследование влияния магнитной обработки воды на физико-химические свойства цемента, раствора и бетона, Материалы научной конференции, ЛИСИ, Ленинград, 1971, с. 28–30.
11. Espinosa A.V., Rubio F. Soaking in water treated with electromagnetic fields for stimulation of germination in seeds of papaya (*Carica papaya* L.) // Centro Agricola, 1997, V. 24, № 1, p. 36–40.
12. Гребнев А.Н., Классен В.И., Стефановская Л.К., Жужгова В.П. Растворимость мочевого камня человека в омагниченной воде, В сб.: Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем, Москва, 1971, с. 142.

13. Шимкус Э.М., Аксенов Ж.П., Каленкович Н.И., Живой В.Я. О некоторых лечебных свойствах воды, обработанной магнитным полем, в сб.: Влияние электромагнитных полей на биологические объекты, Харьков, 1973, с. 212.
14. Штереншис И.П. Современное состояние проблемы магнитной обработки воды в теплоэнергетике (обзор), Атоминформэнерго, Москва, 1973, с. 78.
15. Мартынова О.И., Копылов А.С., Терехенихин У.Ф., Очков В.Ф. К механизму влияния магнитной обработки на процессы накипеобразования и коррозии // Теплоэнергетика, 1979, № 6, с. 34–36.
16. СНИП 11-35-76 “Котельные установки”. Москва, 1998.
17. Щелоков Я.М. О магнитной обработке воды // Новости теплоснабжения, 2002, Т. 8, № 24, с. 41–42.
18. Присяжнюк В.Я. Жесткость воды: способы умягчения и технологические схемы // СОК, Рубрика Сантехника и водоснабжение, 2004, № 11, с. 45–59.
19. Терехенихин Е.Ф., Гусев Б.Т. Обработка воды магнитным полем в теплоэнергетике, Энергия, Москва, 1970, с. 144.
20. С. И. Кошоридзе С.И., Левин Ю.К. Физическая модель снижения накипеобразования при магнитной обработке воды в теплоэнергетических устройствах // Теплоэнергетика, 2009, № 4, с. 66–68.
21. Савельев И.В. Курс общей физики, том 2, Электричество и магнетизм. Волны. Оптика, Наука, Москва, 1978, с. 480.
22. Брановер Г.Г., Циннобер А.Б. Магнитная гидродинамика несжимаемых сред, Наука, Москва, 1970, с. 380.
23. Домнин А.И. Гидромагнитные системы – устройства для предотвращения образования накипи и точечной коррозии // Новости теплоснабжения, 2002, Т. 12, № 28, с. 31–32.
24. Мосин О.В. Магнитные системы обработки воды. Основные перспективы и направления // Сантехника, 2011, № 1, с. 21–25.